



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0111353
(43) 공개일자 2023년07월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 5/042 (2006.01) H01S 5/343 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01S 5/04253 (2020.08)
H01S 5/34333 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0007084
(22) 출원일자 2022년01월18일
심사청구일자 2022년01월18일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
류한열
서울특별시 마포구 상암산로1길 92, 713동 202호
(상암동, 상암월드컵파크 7단지)
(74) 대리인
양성보

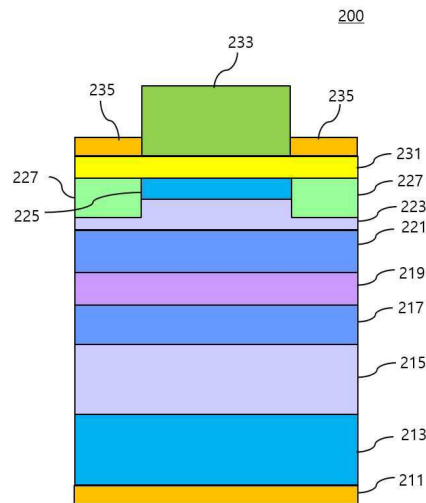
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 질화물 반도체 레이저 소자 및 그의 제조 방법

(57) 요약

다양한 실시예들은 질화물 반도체 레이저 소자 및 그의 제조 방법을 제공한다. 다양한 실시예들에 따르면, 질화물 반도체 레이저 소자는 하부 반도체층, 활성층 및 상부 반도체층, 상부 반도체층 상에 배치되는 투명전도산화물(transparent conductive oxide; TCO)층, 및 투명전도산화물층 상에 배치되는 유전체층을 포함한다. 이에 따라, 질화물 반도체 레이저 소자는 p형 클래드층의 높은 전기저항과 p형 전극층에서의 광흡수 문제 및 크랙 발생 문제를 개선하여, 향상된 효율을 갖는다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415173871
과제번호	20015909
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품기술개발-소재부품패키지형
연구과제명	150W급 가공용 레이저 다이오드 array 제조기술 개발(1차년도)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)옵토웰
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

하부 반도체층, 활성층, 및 상부 반도체층을 갖는 질화물 반도체 레이저 소자에 있어서,
상기 상부 반도체층 상에 배치되는 투명전도산화물(transparent conductive oxide; TCO)층; 및
상기 투명전도산화물층 상에 배치되는 유전체층
을 포함하는,
질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 투명전도산화물층 상에서 상기 유전체층의 양측부에 배치되는 p형 전극층
을 더 포함하는,
질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 상부 반도체층은,
상기 활성층 상에 배치되는 p형 광가이드층;
상기 p형 광가이드층 상에 배치되는 p형 클래드층; 및
상기 p형 클래드층 상에 배치되는 p형 콘택층
을 포함하는,
질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 상부 반도체층은,
상기 활성층 상에 배치되는 p형 광가이드층; 및
상기 p형 광가이드층 상에 배치되는 p형 콘택층
을 포함하는,
질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
 상기 하부 반도체층은,
 n형 전극층;
 상기 n형 전극층 상에 배치되는 n형 반도체층;
 상기 n형 반도체층 상에 배치되는 n형 클래드층; 및
 상기 n형 클래드층 상에 배치되는 n형 광가이드층
 을 포함하는,
 질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 6

제 1 항에 있어서,
 상기 투명전도산화물층은,
 ITO(indium tin oxide), IZO(indium zinc oxide), IZTO(indium zinc tin oxide), IAZO(indium aluminum zinc oxide), IGZO(indium gallium zinc oxide), IGTO(indium gallium tin oxide), AZO(aluminum zinc oxide), ATO(antimony tin oxide), GZO(gallium zinc oxide), 또는 ZnO 중 적어도 하나를 포함하는,
 질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 7

제 1 항에 있어서,
 상기 유전체층은,
 SiO_2 , SiN_x , AlN, Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , MnO, HfO_x , 또는 Ta_2O_5 중 적어도 하나를 포함하는,
 질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
 상기 투명전도산화물층의 굴절률은,
 상기 상부 반도체층의 굴절률보다 낮은,
 질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 9

제 1 항에 있어서,
 상기 투명전도산화물층의 두께는,
 5 nm 내지 500 nm의 범위 내에 있는,
 질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 10

제 1 항에 있어서,
상기 유전체층의 폭은,
1 μm 내지 100 μm 의 범위 내에 있고,
상기 유전체층의 두께는,
10 nm 내지 100 nm의 범위 내에 있는,
질화물 반도체 레이저 소자.

청구항 11

질화물 반도체 레이저 소자의 제조 방법에 있어서,
하부 반도체층, 활성층, 및 상부 반도체층을 성장시키는 단계;
상기 상부 반도체층 상에 투명전도산화물층을 형성하는 단계; 및
상기 투명전도산화물층 상에 유전체층을 형성하는 단계
를 포함하는,
질화물 반도체 레이저 소자의 제조 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,
상기 투명전도산화물층 상에서 상기 유전체층을 식각하여, 상기 유전체층의 양측부에 상기 투명전도산화물층이 노출되는 리지 구조를 형성하는 단계; 및
상기 투명전도산화물층 상에서 상기 리지 구조 내에 p형 전극을 형성하는 단계
를 더 포함하는,
질화물 반도체 레이저 소자의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 다양한 실시예들은 질화물 반도체 레이저 소자 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] GaN, InGaN, AlGaN 물질에 기반한 질화물 청색 및 녹색 반도체 레이저 다이오드(laser diode; LD)는 최근 레이저 디스플레이의 광원과 가공용(material processing) 레이저로서 관심이 증대하고 있다. 특히 청색 레이저를 가공용으로 활용하기 위해서는, 질화물 LD의 고효율과 고휒출력 특성이 요구된다.

[0003] 질화물 LD 소자에서는, p형 클래드층에서의 높은 전기저항과 p형 전극층에서의 광흡수가 소자 특성에 큰 영향을 주게 된다. 질화물 LD 소자의 경우, p형 클래드층에는 AlGaN 물질이 이용되는데, p형 도핑 물질인 Mg의 이온화 에너지가 높아서 Mg의 도핑 농도를 증가시켜도 정공(hole)의 농도가 낮아, p형 클래드층의 전기저항이 높다. 이는 질화물 LD 소자에서 동작 전압 상승의 주요인이 된다. p형 클래드층은 두께가 감소할수록 전기저항이 감소하여 질화물 LD 소자의 동작 전압을 낮출 수 있지만, p형 클래드층의 두께가 충분히 두껍지 않으면 레이저 광이 p형 클래드층에서 충분히 가두어지지 않고 p형 클래드층 상부의 p형 전극층에서도 빛이 흡수되어 광출력이 감소하게 된다. 반대로, p형 클래드층의 두께가 두꺼울수록 전기저항이 증가하고 또한 하부 GaN층과의 격자상수 차

이로 인한 스트레인 증가에 의해 크랙(crack)이 발생할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 다양한 실시예들은, p형 클래드 층의 높은 전기저항과 p형 전극층에서의 광흡수 문제 및 크랙 발생 문제를 개선하여, 향상된 효율을 갖는 질화물 LD 소자 및 그의 제조 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 다양한 실시예들은 하부 반도체층, 활성층, 및 상부 반도체층을 갖는 질화물 반도체 레이저 소자를 제공하며, 다양한 실시예들에 따른 질화물 반도체 레이저 소자는, 상기 상부 반도체층 상에 배치되는 투명전도산화물(transparent conductive oxide; TCO)층, 및 상기 투명전도산화물층 상에 배치되는 유전체층을 포함한다.

[0006] 다양한 실시예들에 따른 질화물 반도체 레이저 소자의 제조 방법은, 하부 반도체층, 활성층, 및 상부 반도체층을 성장시키는 단계, 상기 상부 반도체층 상에 투명전도산화물층을 형성하는 단계; 및 상기 투명전도산화물층 상에 유전체층을 형성하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0007] 다양한 실시예들에 따르면, 질화물 반도체 레이저 소자가 얇은 p형 클래드층을 갖도록 구현되거나 p형 클래드층이 없이 구현됨으로써, 전기저항이 감소되며, 이에 따라 질화물 반도체 레이저 소자의 동작 전압이 감소될 수 있다. 이 때, 질화물 반도체 레이저 소자가 광흡수가 없는 유전체층을 갖도록 구현됨으로써, 광손실이 감소되고, 이에 따라 광출력이 증가된다. 이러한 동작 전압 감소 및 광출력 증가에 의해, 질화물 반도체 레이저 소자는 향상된 광전변환효율을 가질 수 있다. 아울러, 질화물 반도체 레이저 소자가 얇은 p형 클래드층을 갖도록 구현되거나 p형 클래드층이 없이 구현됨으로써, 하부층과의 스트레인에 의한 크랙 발생이 방지되고, 이에 따라 결정 품질이 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1 은 일반적인 질화물 LD 소자를 도시하는 단면도이다.

도 2는 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자를 도시하는 단면도이다.

도 3은 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자의 굴절률 및 레이저 광모드 분포를 나타내는 도면이다.

도 4는 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자의 굴절률 및 레이저 광모드 분포를 나타내는 도면이다.

도 5는 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 두께에 따른 광손실을 나타내는 도면이다.

도 6은 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 두께에 따른 전기저항을 나타내는 도면이다.

도 7은 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 최적의 두께에서의 광출력-전류 관계를 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다.

도 8은 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 최적의 두께에서의 전압-전류 관계를 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다.

도 9는 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 최적의 두께에서의 광전변환효율-전류 관계를 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다.

도 10a, 도 10b, 도 10c, 도 10d, 도 10e, 도 10f, 및 도 10g는 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자의 제조 방법을 도시하는 도면들이다.

도 11은 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자를 도시하는 단면도이다.

도 12는 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 11의 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 최적의 두께에서의 광출력-전류 관계를 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다.

도 13은 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 11의 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 최적의 두께에서의 전압-전류 관계를 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다.

도 14는 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자와 도 11의 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자에서 p형 클래드층의 최적의 두께에서의 광전변환효율-전류 관계를 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하, 본 문서의 다양한 실시예들이 첨부된 도면을 참조하여 설명된다.

[0011] 도 1은 일반적인 질화물 LD 소자(100)를 도시하는 단면도이다.

[0012] 도 1을 참조하면, 일반적인 LD 소자(100)는 n형 전극층(111), n형 반도체층(113), n형 클래드층(115), n형 광가이드층(117), 활성층(119), p형 광가이드층(121), p형 클래드층(123), p형 콘택층(125), 절연층(127), 및 p형 전극층(129)을 포함한다. 이 때, p형 클래드층(123)에는 AlGaN 물질이 이용되는데, p형 도핑 물질인 Mg의 이온화 에너지가 높아서 Mg의 도핑 농도를 증가시켜도 정공(hole)의 농도가 낮아, p형 클래드층(123)의 전기저항이 높다. 이는 질화물 LD 소자(100)에서 동작 전압 상승의 주요인이 된다. 한편, p형 클래드층(123)은 두께가 감소할수록 전기저항이 감소하여 질화물 LD 소자(100)의 동작 전압을 낮출 수 있지만, p형 클래드층(123)의 두께가 충분히 두껍지 않으면 레이저 광이 p형 클래드층(123)에서 충분히 가두어지지 않고 p형 클래드층(123) 상부의 p형 전극층(129)에서도 빛이 흡수되어 광출력이 감소하게 된다. 반대로, p형 클래드층(123)의 두께가 두꺼울수록 전기저항이 증가하고 또한 하부 GaN층, 예컨대 n형 클래드층(115), n형 광가이드층(117), 활성층(119), 또는 p형 광가이드층(121) 중 적어도 하나의 격자상수 차이로 인한 스트레인 증가에 의해 크랙이 발생할 수 있다.

[0014] 도 2는 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)를 도시하는 단면도이다.

[0015] 도 2를 참조하면, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)는 n형 전극층(211), n형 반도체층(213), n형 클래드층(215), n형 광가이드층(217), 활성층(219), p형 광가이드층(221), p형 클래드층(223), p형 콘택층(225), 절연층(227), 투명전도산화물층(translucent conductive oxide; TCO)층(231), 유전체층(233), 및 p형 전극층(235)을 포함한다. 제 1 실시예에 따르면, 투명전도산화물층(231)이 p형 콘택층(225) 및 절연층(227) 상에 형성되고, 유전체층(233)이 투명전도산화물층(231) 상에 형성된다. p형 클래드층(223)은 제 1 p형 클래드층이고, 유전체층(233)은 제 2 p형 클래드층의 역할을 한다. 이 때, 유전체층(233)은 투명전도산화물층(231) 상에서 리지(ridge) 형태로 형성되고, p형 전극층(235)이 투명전도산화물층(231) 상에서 유전체층(233)의 양측에 형성된다. 따라서, 전류가 p형 전극층(235)과 투명전도산화물층(231)을 통해, 질화물 LD 소자(200)의 내부로 흐른다.

[0016] 질화물 LD 소자(200)의 반도체 물질은 일반적으로 $Al_xGa_{1-x}In_yN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)으로 나타낼 수 있다. 예를 들면, 질화물 LD 소자(200)는 청색 및 녹색의 가시광 질화물 LD 소자를 포함하고, 이러한 경우에 구체적으로 각 층을 구성하는 물질은 다음과 같다. n형 전극층(211)은 GaN, Si, SiC, 사파이어(sapphire) 등을 활용하여 준비될 수 있다. n형 클래드층(215)은 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 0.2$)으로 형성되고, n형 광가이드층(217) 및 p형 광가이드층(221)은 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 0.1$)으로 형성되며, p형 클래드층(223)은 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 0.2$)으로 형성될 수 있다. 빛을 방출하는 활성층(219)은 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 0.3$)을 한 층 또는 여러 층들로 포함하는 다중양자우물(multiple quantum well; MQW) 구조로 형성될 수 있다. P형 콘택층(225)은 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 0.1$)으로 형성될 수 있다. p형 전극층(235)은 Au, Pt, Pd 등의 다양한 금속 물질을 이용하여 형성될 수 있다.

[0017] 투명전도산화물층(231)과 유전체층(233)에는, 다양한 물질들이 활용될 수 있다. 투명전도산화물층(231)은 ITO(indium tin oxide), IZO(indium zinc oxide), IZTO(indium zinc tin oxide), IAZO(indium aluminum zinc oxide), IGZO(indium gallium zinc oxide), IGTO(indium gallium tin oxide), AZO(aluminum zinc oxide), ATO(antimony tin oxide), GZO(gallium zinc oxide), 또는 ZnO 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성될 수 있다. 유전체층(233)은 SiO_2 , SiN_x , AlN, Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , MnO, HfO_x , 또는 Ta_2O_5 중 적어도 하나를 포함하는 물질로 형성될 수 있다.

[0018] 도 3 및 도 4는 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자(100)와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)의 굴

절물 및 레이저 광모드(optical mode) 분포를 나타내는 도면들이다. 도 3 및 도 4에서, 적색선은 굴절률 분포를 나타내고, 청색선은 레이저 광모드 분포를 나타낸다.

[0019] 도 3 및 도 4를 참조하면, 일반적인 질화물 LD 소자(100) 및 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)는 광전변환 효율이 가장 높은 최적의 구조에 가까운 굴절률 분포를 갖도록 각각 준비되었다. 그리고, 일반적인 질화물 LD 소자(100) 및 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서의 레이저 광모드 분포가 확인되었다.

[0020] 구체적으로, 일반적인 질화물 LD 소자(100)는, 도 3에 도시된 바와 같은 굴절률 분포를 갖도록 준비되었다. 질화물 LD 소자(100)는 n형 전극층(111), n형 반도체층(113), n형 클래드층(115), n형 광가이드층(117), 활성층(119), p형 광가이드층(121), p형 클래드층(123), p형 콘택층(125), 절연층(127), 및 p형 전극층(129)을 포함한다. 이 때, n형 클래드층(115) 및 p형 클래드층(123)은 $Al_{0.05}GaN$ 으로 형성되었고, n형 광가이드층(117) 및 p형 광가이드층(121)은 GaN으로 형성되었고, 활성층(119)은 $In_{0.15}GaN$ 을 포함하는 다중 양자우물 구조로 형성되었고, p형 콘택층(125)은 고농도로 p형 도핑된 GaN으로 형성되었으며, p형 전극층(129)은 Pd로 형성되었다.

[0021] 이러한 일반적인 질화물 LD 소자(100)는 도 3에 도시된 바와 같은 레이저 광모드 분포를 나타낸다. 즉, 레이저 광이 굴절률이 높은 n형 광가이드층(117), 활성층(119), 및 p형 광가이드층(121)에 잘 갇혀져 있고, p형 클래드층(123)에서 빛의 강도가 급격히 약해지게 된다. 그렇지만, p형 전극층(129)의 금속 물질의 광흡수율이 매우 높기 때문에 p형 전극층(129)에서 빛의 강도를 0에 가깝게 크게 낮출 필요가 있는데, 그렇게 하기 위해서는 p형 클래드층(123)의 두께가 상당히 두꺼워야 한다. 이러한 이유로, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서, p형 클래드층(123)은 600 nm의 두께를 갖도록 형성되었다.

[0022] 한편, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)는 도 4에 도시된 바와 같은 굴절률 분포를 갖도록, 준비되었다. 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)는 n형 전극층(211), n형 반도체층(213), n형 클래드층(215), n형 광가이드층(217), 활성층(219), p형 광가이드층(221), p형 클래드층(223), p형 콘택층(225), 절연층(227), 투명전도산화물층(231), 유전체층(233), 및 p형 전극층(235)을 포함한다. 이 때, 도 3의 일반적인 질화물 LD 소자(100)와 마찬가지로, n형 클래드층(215)은 $Al_{0.05}GaN$ 으로 형성되었고, n형 광가이드층(217) 및 p형 광가이드층(221)은 GaN으로 형성되었으며, 활성층(219)은 $In_{0.15}GaN$ 을 포함하는 다중 양자우물 구조로 형성되었다. 한편, 도 3의 일반적인 질화물 LD 소자(100)와 다르게, p형 클래드층(223)은 $Al_{0.05}GaN$ 으로 비교적 얇게 형성되었다. 여기서, p형 클래드층(223)은 100nm의 두께를 갖도록 상당히 얇게 형성되었다. 투명전도산화물층(231)은 굴절률이 1.95인 ITO로 형성되었다. 여기서, 투명전도산화물층(231)은 50 nm의 두께를 갖도록 형성되었다. 유전체층(233)은 굴절률이 1.47인 SiO_2 로 형성되었으며, p형 전극층(235)은 Pd로 형성되었다.

[0023] 이러한 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)는 도 4에 도시된 바와 같은 레이저 광모드 분포를 나타낸다. 즉, 레이저 광이 굴절률이 높은 n형 광가이드층(217), 활성층(219), 및 p형 광가이드층(221)에 잘 갇혀져 있고, p형 클래드층(223), 투명전도산화물층(231), 및 유전체층(233)을 지나면서 빛의 강도가 급격히 약해지게 된다. p형 클래드층(223)의 두께가 상당히 얇아져서, p형 클래드층(223)의 전기저항은 크게 줄어들게 된다. 투명전도산화물층(231)에서 광흡수가 상당히 존재할 수 있지만, 투명전도산화물층(231)의 두께가 상당히 얇기 때문에 투명전도산화물층(231)에서의 광손실은 그다지 크지 않다. 또한, 유전체층(233)에서는 광흡수가 없고, p형 전극층(235)은 광흡수에 영향을 주지 않으므로, 전반적으로 광손실이 감소하는 효과가 있다.

[0024] 도 5 및 도 6은 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자(100)와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서 p형 클래드층(123, 223)의 두께에 따른 광손실 및 전기저항을 나타내는 도면들이다. 여기서, 광손실을 나타내는 척도로는 보통 모달 로스(modal loss)가 사용되는데, 모달 로스는 레이저 광모드가 진행되는 동안 단위 길이 당 에너지 감소량을 의미하며, 그 단위는 cm^{-1} 이다. 모달 로스를 계산하기 위해 활용된 각 층의 물질에 대한 굴절률과 흡수 계수는 하기 [표 1]과 같다. 아울러, 전기저항을 계산하기 위해 활용된 각 층의 물질에 대한 비저항은 상기 [표 1]과 같다.

표 1

	물질	굴절률	흡수 계수 [cm^{-1}]	비저항 [Ωcm]
투명전도산화물층	ITO	1.95	2000	2×10^{-4}
p형 전극층	Pd	1.4	9000000	0
p형 클래드층	p-AlGaIn	2.417	20	2.0

- [0026] 도 5를 참조하면, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서는, p형 클래드층(123)의 두께가 증가함에 따라, 모달 로스가 급격히 감소하였다. 이는, p형 클래드층(123)이 충분히 두껍지 않으면, 레이저 광이 p형 전극층(129)에 닿게 되어, p형 전극층(129)에서의 광흡수가 크게 증가하기 때문이다. p형 클래드층(123)의 두께가 600 nm 이상은 되어야, p형 전극층(129)에서의 광흡수가 충분히 감소해서, 모달 로스가 5 cm^{-1} 이하가 된다. 한편, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서는 p형 클래드층(223)의 두께에 거의 무관하게, 모달 로스가 5 cm^{-1} 이하로 낮게 유지된다. 이는, p형 클래드층(223)이 얇아도 그에 대응하여 p형 전극층(235)이 존재하지 않으므로 광손실이 매우 낮아지게 되기 때문이다. 계산 결과를 보면, p형 클래드층(223)의 두께가 250 nm일 때 모달 로스가 최소가 된다. p형 클래드층(223)의 두께가 250 nm보다 두꺼우면 p형 클래드층(223)에서의 광흡수가 증가하고, p형 클래드층(223)의 두께가 250 nm보다 얇으면 투명전도산화물층(231)에서의 광흡수가 증가하게 되어, 모달 로스가 조금씩 증가하게 된다. 도 6을 참조하면, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서는, p형 클래드층(123)의 두께가 증가함에 따라, 전기저항이 선형적으로 증가하였다. 한편, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서는 p형 클래드층(223)의 두께가 증가함에 따라, 전기저항이 선형적으로 증가하였다. 다만, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서는 p형 클래드층(223)에 투명전도산화물층(231)이 더해지게 되어, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에 비해, 전기저항이 0.08 Ω 정도 증가하였다. 이로부터, 전체 전기저항에서 투명전도산화물층(231)에 의한 전기저항의 비중은 그다지 크지 않다는 것이 확인된다.
- [0027] 따라서, 도 5 및 도 6에 따르면, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서는 p형 클래드층(123)의 두께가 증가함에 따라 광손실은 감소하지만 전기저항은 증가하게 되어, 최대의 광전변환효율을 얻을 수 있는 p형 클래드층(123)의 두께는 대략 600 nm 정도가 된다. 이에 반해, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서는 p형 클래드층(223)의 두께가 매우 얇아도 낮은 광손실이 유지되어, 대략 100 nm 정도에서 최대 광전변환효율이 얻어지게 된다.
- [0028] 도 7, 도 8, 및 도 9는 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자(100)와 도 2의 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서 p형 클래드층(123, 223)의 최적의 두께에서의 광출력-전류, 전압-전류, 및 광전변환효율-전류 관계를 각각 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면들이다. 시뮬레이션에는 LD 전문 소자 설계 프로그램인 Crosslight사의 LASTIP 프로그램을 활용하였다. 본 시뮬레이션에서 캐비티 길이는 1200 μm , 리지의 폭은 10 μm 로 두었고, 레이저 출사면과 후면의 반사율은 각각 5%와 98%로 두었다. 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서 광전변환효율이 최대가 되는 p형 클래드층(123)의 최적의 두께는, 600 nm이며, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서 광전변환효율이 최대가 되는 p형 클래드층(223)의 최적의 두께는 100 nm이다. 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서 투명전도산화물층(231)의 두께는 50 nm로 두었다.
- [0029] 도 7을 참조하면, 고전류에서, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)의 광출력이 일반적인 질화물 LD 소자(100)의 광출력에 비해 약간 높다. 이는, 도 5에 도시된 바와 같이, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서 p형 클래드층(223)의 두께가 100 nm일 때의 모달 로스가 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서 p형 클래드층(123)의 두께가 600 nm일 때의 모달 로스에 비해 낮기 때문인 것으로 이해될 수 있다.
- [0030] 도 8을 참조하면, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)의 전압이 일반적인 질화물 LD 소자(100)의 전압에 비해 훨씬 낮으며, 그 차이는 전류가 증가함에 따라 더 크다. 도 6에 도시된 바와 같이, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서 p형 클래드층(123)의 두께가 600 nm일 때의 전기저항은 1 Ω 이지만, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서 p형 클래드층(223)의 두께가 100 nm일 때의 전기저항은 0.25 Ω 에 불과하다. 이러한 전기저항의 차이로 인해, 특히 고전류에서, 제 1 실시예에 따른 LD 소자(200)에서 낮은 동작 전압이 구현될 수 있다.
- [0031] 도 9를 참조하면, 일반적인 질화물 LD 소자(100)의 최대 광전변환효율은 40% 정도인데, 이는 최근까지 보고된 고성능 청색 LD 소자의 광전변환효율에 대략적으로 부합한다. 한편, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)의 최대 광전변환효율은 48%이다. 여기서, 광전변환효율은 레이저의 광출력을 입력 전력으로 나눈 값이다. 입력 전력은 주입되는 전류와 전압의 곱에 해당한다. 특히 일반적인 질화물 LD 소자(100)는 고전류에서는 전류가 증가함에 따라 광전변환효율이 감소하는데 비해, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)는 고전류에서도 높은 광전변환효율이 유지된다. 따라서, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)는 고출력, 고효율 특성을 구현하는데 있어서 상당히 유리하다.
- [0032] 도 10a, 도 10b, 도 10c, 도 10d, 도 10e, 도 10f, 및 도 10g는 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)의 제조 방법을 도시하는 도면들이다.

- [0033] 먼저, 도 10a에 도시된 바와 같이, n형 전극층(211), n형 반도체층(213), n형 클래드층(215), n형 광가이드층(217), 활성층(219), p형 광가이드층(221), p형 클래드층(223), 및 p형 콘택층(225)에 대한 성장이 진행된다. 여기서, 성장은 에피택시(epitaxy) 방식으로 이루어질 수 있다.
- [0034] 다음으로, 도 10b에 도시된 바와 같이, p형 클래드층(223) 및 p형 콘택층(225)에 대해, 리지 구조(226)가 형성된다. 구체적으로, p형 콘택층(225)의 표면에 리지 형태가 패터닝된 다음, 리지 형태를 따라 p형 클래드층(223) 및 p형 콘택층(225)에 원하는 깊이만큼 건식 식각(dry etching)이 적용됨으로써, 리지 구조(226)가 형성된다.
- [0035] 다음으로, 도 10c에 도시된 바와 같이, 리지 구조(226) 내에 절연층(227)이 형성된다. 구체적으로, 리지 구조(226) 내에 유전체 물질이 증착됨으로써, 유전체 물질로부터 절연층(227)이 형성된다.
- [0036] 이어서, 도 10d에 도시된 바와 같이, p형 콘택층(225) 및 절연층(227) 상에 투명전도산화물층(231)이 형성된다. 그리고, 도 10e에 도시된 바와 같이, 투명전도산화물층(231) 상에 유전체층(233)이 형성된다. 구체적으로, p형 콘택층(225) 및 절연층(227) 상에 투명전도산화물층(231)이 증착된 다음, 투명전도산화물층(231) 상에 유전체층(233)이 증착된다.
- [0037] 계속해서, 도 10f에 도시된 바와 같이, 유전체층(233)에, 리지 구조(234)가 형성된다. 구체적으로, 유전체층(233)의 표면에 리지 형태가 패터닝된 다음, 리지 형태를 따라 유전체층(233)의 일부 영역이 식각됨으로써, 리지 구조(234)가 형성된다. 이 때, 유전체층(233)만 선택적으로 식각할 수 있는 용액을 이용하여, 습식 식각을 통해 유전체층(233)의 일부 영역이 식각될 수 있다. 또는, 건식 식각을 통해 유전체층(233)의 일부 영역이 식각될 수도 있다. 이를 통해, 유전체층(233)의 양측부에 리지 구조(234)가 형성될 수 있다.
- [0038] 마지막으로, 도 10g에 도시된 바와 같이, 리지 구조(234) 내에 p형 전극층(235)이 형성된다. 구체적으로, 리지 구조(234) 내에 금속 물질이 증착됨으로써, 금속 물질로부터 p형 전극층(235)이 형성된다.
- [0039] 따라서, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)가 제조된다.
- [0041] 도 11은 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)를 도시하는 단면도이다.
- [0042] 도 11을 참조하면, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)는 n형 전극층(311), n형 반도체층(313), n형 클래드층(315), n형 광가이드층(317), 활성층(319), p형 광가이드층(321), p형 콘택층(325), 절연층(327), 투명전도산화물층(331), 유전체층(333), 및 p형 전극층(335)을 포함한다. 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)의 구성 요소들은 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)의 대응하는 구성 요소들과 대체로 유사하다. 다만, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 소자(200)에서는, p형 콘택층(225)이 p형 광가이드층(221) 상의 p형 클래드층(223) 상에 위치되나, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)에서는, p형 콘택층(325)이 p형 광가이드층(321) 상에 위치된다. 도 5에 도시된 바와 같이, p형 클래드층(223)의 두께가 0인 경우에도 모달 로스가 낮게 유지되고 전기저항도 더 감소되므로, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)는 일반적인 질화물 LD 소자(100)에 비해 높은 광전변환효율을 달성할 수 있다. 또한, p형 클래드층(223)이 없으면, 하부 GaN층, 예컨대 n형 클래드층(315), n형 광가이드층(317), 활성층(319), 또는 p형 광가이드층(321) 중 적어도 하나와의 스트레인이 감소되어, 보다 고품질의 결정 성장이 가능하다.
- [0043] 도 12, 도 13, 및 도 14는 도 1의 일반적인 질화물 LD 소자(100)와 도 11의 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)에서 광출력-전류, 전압-전류, 및 광전변환효율-전류 관계를 각각 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면들이다. 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서 광전변환효율이 최대가 되는 p형 클래드층(123)의 최적의 두께는, 600 nm이다. 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)에서 투명전도산화물층(331)의 두께는 50 nm로 두었다.
- [0044] 도 12를 참조하면, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)의 광출력이 일반적인 질화물 LD 소자(100)에 비해 낮다. 이는, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)는 p형 클래드층(223)이 부재함에 따라, 투명전도산화물층(331)에서 레이저광의 흡수가 증가했기 때문이다.
- [0045] 도 13을 참조하면, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)의 전압이 일반적인 질화물 LD 소자(100)의 전압에 비해 훨씬 낮으며, 그 차이는 전류가 증가함에 따라 더 크다. 이는, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)는 p형 클래드층(223)의 전기저항이 없기 때문에, 전압이 크게 감소된 것으로 이해될 수 있다.
- [0046] 도 14를 참조하면, 일반적인 질화물 LD 소자(100)의 최대 광전변환효율은 40% 정도인데, 이는 최근까지 보고된 고성능 청색 LD 소자의 광전변환효율에 대략적으로 부합한다. 한편, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)의

최대 광전변환효율은 45%이다. 특히 일반적인 질화물 LD 소자(100)는 고전류에서는 전류가 증가함에 따라 광전변환효율이 감소하는데 비해, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)에서의 전압 감소의 효과가 크기 때문에, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)의 광전변환효율은 전류가 증가할수록 더 증가하게 된다. 따라서, 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)는 고출력, 고효율 특성을 구현하는 데 있어서 상당히 유리하다.

- [0047] 제 2 실시예에 따른 질화물 LD 소자(300)의 제조 방법은, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 제조 방법(200)과 유사하므로, 상세한 설명을 생략한다. 다만, 첫 번째 단계에서, n형 전극층(311), n형 반도체층(313), n형 클래드층(315), n형 광가이드층(317), 활성층(319), p형 광가이드층(321), 및 p형 콘택층(325)에 대한 성장이 진행된다. 이후의 단계들에 대해서는, 제 1 실시예에 따른 질화물 LD 제조 방법(200)과 유사하다.
- [0049] 요컨대, 다양한 실시예들은 질화물 LD 소자(200; 300) 및 그의 제조 방법을 제공한다.
- [0050] 다양한 실시예들에 따른 질화물 LD 소자(200; 300)는, 하부 반도체층(211, 213, 215, 217; 311, 313, 315, 317), 활성층(219; 319) 및 상부 반도체층(221, 223, 225, 227; 321, 325, 327), 상부 반도체층(221, 223, 225, 227; 321, 325, 327) 상에 배치되는 투명전도산화물층(231; 331), 및 투명전도산화물층(231; 331) 상에 배치되는 유전체층(233; 333)을 포함한다.
- [0051] 다양한 실시예들에 따르면, 질화물 LD 소자(200; 300)는 투명전도산화물층(231; 331) 상에서 유전체층(233, 333)의 양측부에 배치되는 p형 전극층(235; 335)을 더 포함한다.
- [0052] 일 실시예에 따르면, 상부 반도체층(221, 223, 225, 227)은, 활성층(219) 상에 배치되는 p형 광가이드층(221), p형 광가이드층(221) 상에 배치되는 p형 클래드층(223), 및 p형 클래드층(223) 상에 배치되는 p형 콘택층(225)을 포함한다.
- [0053] 다른 실시예에 따르면, 상부 반도체층(321, 325, 327)은, 활성층(319) 상에 배치되는 p형 광가이드층(321), 및 p형 광가이드층(321) 상에 배치되는 p형 콘택층(325)을 포함한다.
- [0054] 다양한 실시예들에 따르면, 하부 반도체층(211, 213, 215, 217; 311, 313, 315, 317)은, n형 전극층(211; 311), n형 전극층(211; 311) 상에 배치되는 n형 반도체층(213; 313), n형 반도체층(213; 313) 상에 배치되는 n형 클래드층(215; 315), 및 n형 클래드층(215; 315) 상에 배치되는 n형 광가이드층(217; 317)을 포함한다.
- [0055] 다양한 실시예들에 따르면, 투명전도산화물층(231; 331)은, ITO(indium tin oxide), IZO(indium zinc oxide), IZTO(indium zinc tin oxide), IAZO(indium aluminum zinc oxide), IGZO(indium gallium zinc oxide), IGTO(indium gallium tin oxide), AZO(aluminum zinc oxide), ATO(antimony tin oxide), GZO(gallium zinc oxide), 또는 ZnO 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0056] 다양한 실시예들에 따르면, 유전체층(233; 333)은, SiO₂, SiN_x, AlN, Al₂O₃, TiO₂, ZrO₂, MnO, HfO_x, 또는 Ta₂O₅ 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0057] 다양한 실시예들에 따르면, 투명전도산화물층(231; 331)의 굴절률은, 상부 반도체층(221, 223, 225, 227; 321, 325, 327)의 굴절률보다 낮다.
- [0058] 다양한 실시예들에 따르면, 투명전도산화물층(231; 331)의 두께는, 5 nm 내지 500 nm의 범위 내에 있다.
- [0059] 다양한 실시예들에 따르면, 유전체층(233; 333)의 폭은, 1 μm 내지 100 μm의 범위 내에 있고, 유전체층(233; 333)의 두께는, 10 nm 내지 100 nm의 범위 내에 있다.
- [0060] 다양한 실시예들에 따른 질화물 LD 소자(200; 300)의 제조 방법은, 하부 반도체층(211, 213, 215, 217; 311, 313, 315, 317), 활성층(219; 319), 및 상부 반도체층(221, 223, 225, 227; 321, 325, 327)을 성장시키는 단계, 상부 반도체층(221, 223, 225, 227; 321, 325, 327) 상에 투명전도산화물층(231; 331)을 형성하는 단계, 및 투명전도산화물층(231; 331) 상에 유전체층(233; 333)을 형성하는 단계를 포함한다.
- [0061] 다양한 실시예들에 따르면, 질화물 LD 소자(200; 300)의 제조 방법은, 투명전도산화물층(231; 331) 상에서 유전체층(233; 333)을 식각하여, 유전체층(233; 333)의 양측부에 투명전도산화물층(231; 331)이 노출되는 리지 구조(234)를 형성하는 단계, 및 투명전도산화물층(231; 331) 상에서 리지 구조(234) 내에 p형 전극(235, 335)을 형성하는 단계를 더 포함한다.
- [0062] 다양한 실시예들에 따르면, 투명전도산화물층(231; 331) 및 유전체층(233; 333)의 굴절률은 상부 반도체층(221,

223, 225, 227; 321, 325, 327)의 굴절률보다 상당히 작아서, 투명전도산화물층(231; 331) 및 유전체층(233; 333)은 추가적인 p형 클래드층의 역할을 하게 되며, 이에 따라 레이저 광모드를 수직 방향으로 효율적으로 가둘 수 있다.

[0063] 따라서, 다양한 실시예들에 따른 질화물 LD 소자(200; 300)에서는 투명전도산화물층(231; 331) 및 유전체층(233; 333)이 추가적인 p형 클래드층의 역할을 하게 되므로, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서의 p형 클래드층(123)의 두께에 비해 p형 클래드층(223)의 두께를 상당히 줄일 수 있으며, 경우에 따라 p형 클래드층(223)이 아예 생략될 수도 있다. 이에 따라, 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서 p형 클래드층(123)의 높은 전기저항과 p형 전극층(129)에서의 광흡수 문제를 상당히 개선할 수 있고, 크랙 발생 문제도 방지할 수 있어서, 질화물 LD 소자(200; 300)에서의 결정의 품질을 높일 수 있다.

[0064] 다양한 실시예들에서, p형 전극층(235; 335)은 유전체층(233; 333)의 양측부에 형성되어 투명전도산화물층(231; 331)과 접촉된다. 따라서, p형 전극층(235; 335)에서 투명전도산화물층(231; 331)을 거쳐 활성층(219; 319)으로 전류가 주입된다. 투명전도산화물층(231; 331)은 비저항이 매우 낮아, 투명전도산화물층(231; 331)에서 전기저항은 크지 않다.

[0065] 다양한 실시예들에서, 투명전도산화물층(231; 331)에도 광흡수가 존재하지만 수십 nm 정도로 상당히 얇게 구현할 수 있으며, 유전체층(233; 333)에서는 광흡수가 없고 p형 전극층(235; 335)은 레이저 모드에서 벗어나 있어서 p형 전극층(235; 335)에서의 광흡수도 크게 감소하게 된다. 이에 따라, 질화물 LD 소자(200; 300)에서의 전체적인 광흡수가 일반적인 질화물 LD 소자(100)에서의 광흡수에 비해 감소하여, 질화물 LD 소자(200; 300)에서의 광출력이 증가하게 된다.

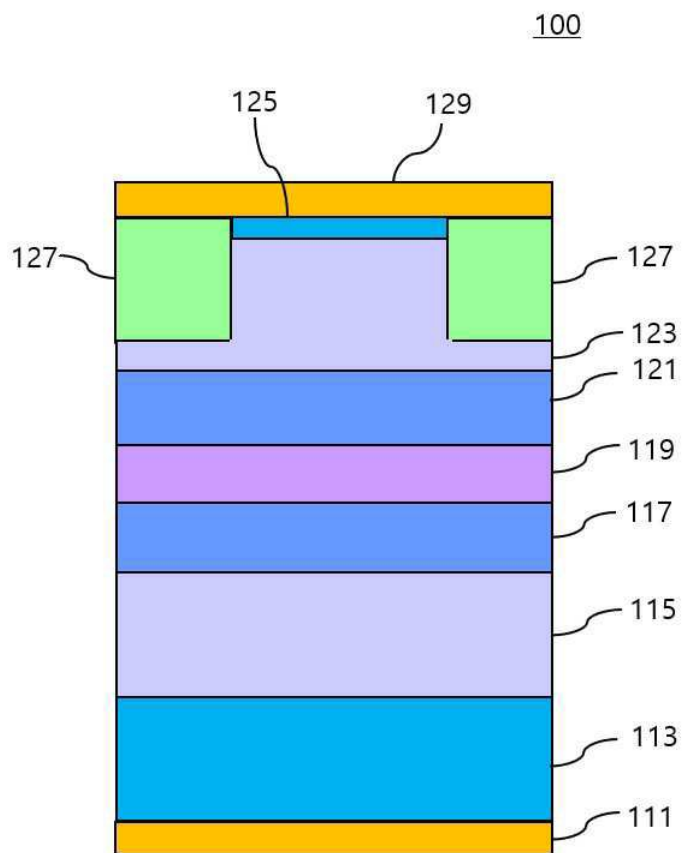
[0066] 결과적으로, 다양한 실시예들에서는 p형 클래드층(223)을 얇게 또는 없이 구현할 수 있으므로, 질화물 LD 소자(200; 300)에서 전기저항이 감소되고 p형 전극층(235, 335)에서의 광손실이 감소하여 광출력이 증대되므로 광전 변환효율이 상당히 향상된다.

[0068] 본 문서의 다양한 실시예들 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성 요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 본 문서에서, "A 또는 B", "A 및/또는 B 중 적어도 하나", "A, B 또는 C" 또는 "A, B 및/또는 C 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다. "제 1", "제 2", "첫째" 또는 "둘째" 등의 표현들은 해당 구성 요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성 요소를 다른 구성 요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성 요소들을 한정하지 않는다. 어떤(예: 제 1) 구성 요소가 다른(예: 제 2) 구성 요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성 요소가 상기 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성 요소(예: 제 3 구성 요소)를 통하여 연결될 수 있다.

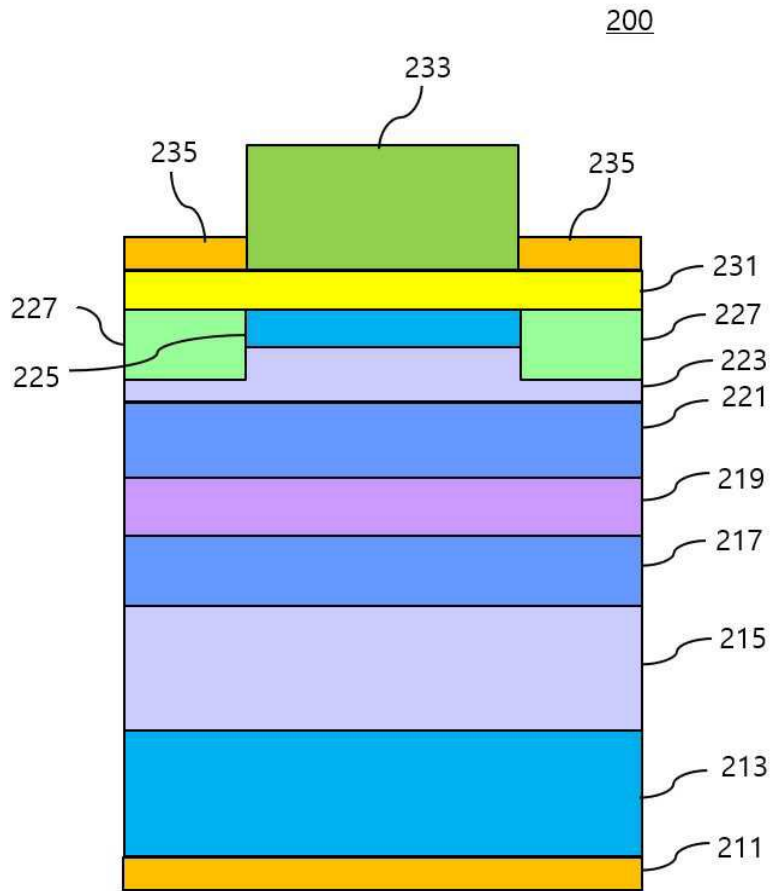
[0069] 다양한 실시예들에 따르면, 기술한 구성 요소들의 각각의 구성 요소는 단수 또는 복수의 개체를 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에 따르면, 기술한 해당 구성 요소들 중 하나 이상의 구성 요소들 또는 단계들이 생략되거나, 또는 하나 이상의 다른 구성 요소들 또는 단계들이 추가될 수 있다. 대체적으로 또는 추가적으로, 복수의 구성 요소들은 하나의 구성 요소로 통합될 수 있다. 이런 경우, 통합된 구성 요소는 복수의 구성 요소들 각각의 구성 요소의 하나 이상의 기능들을 통합 이전에 복수의 구성 요소들 중 해당 구성 요소에 의해 수행되는 것과 동일 또는 유사하게 수행할 수 있다.

도면

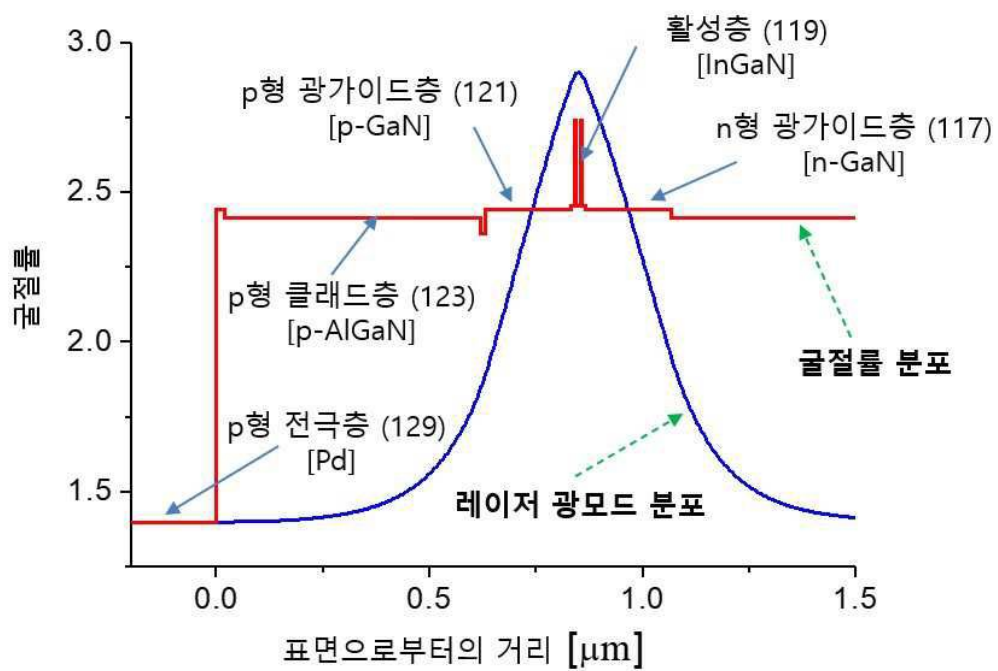
도면1



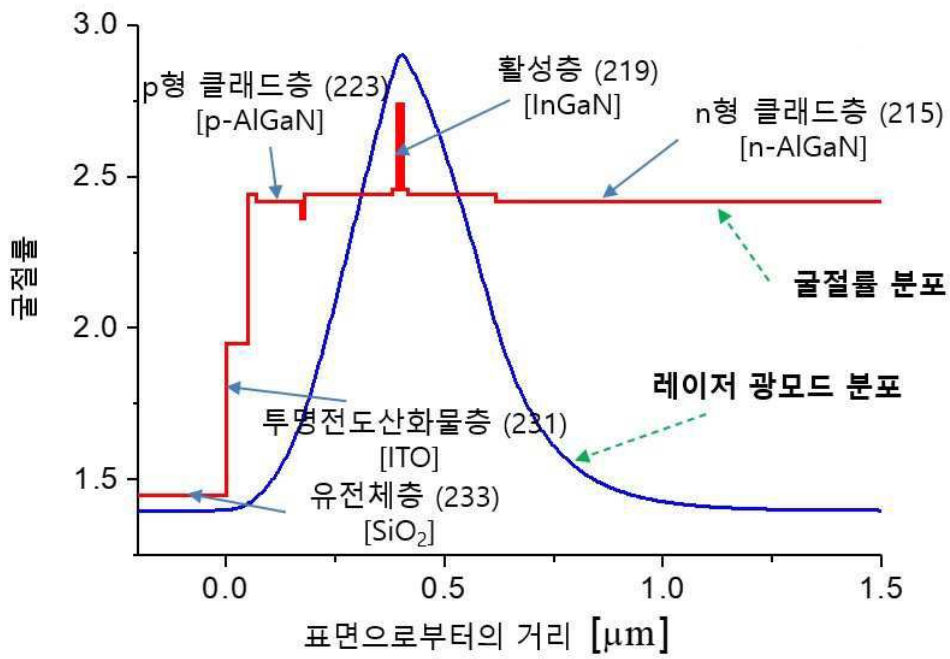
도면2



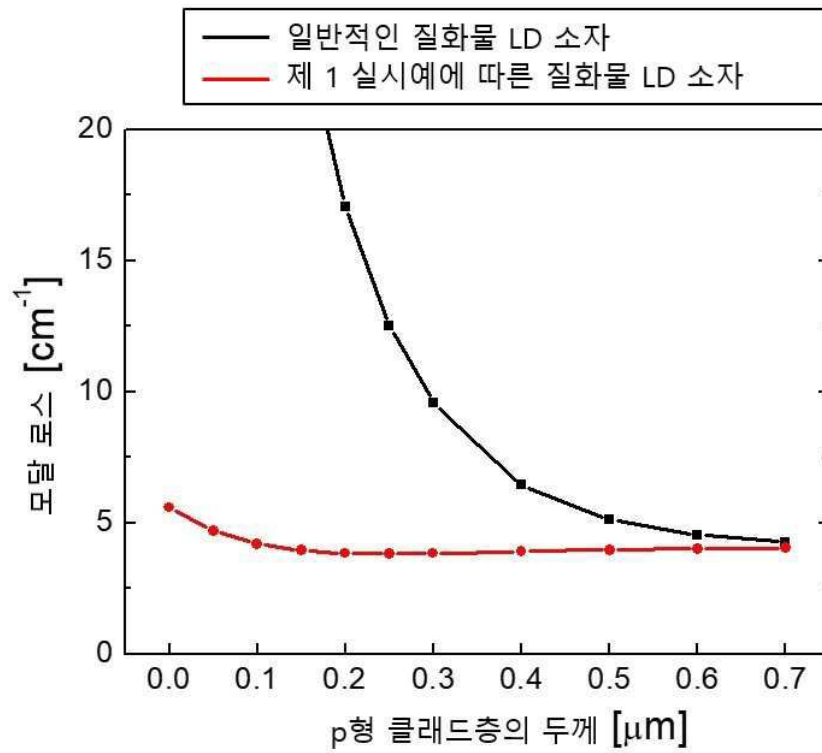
도면3



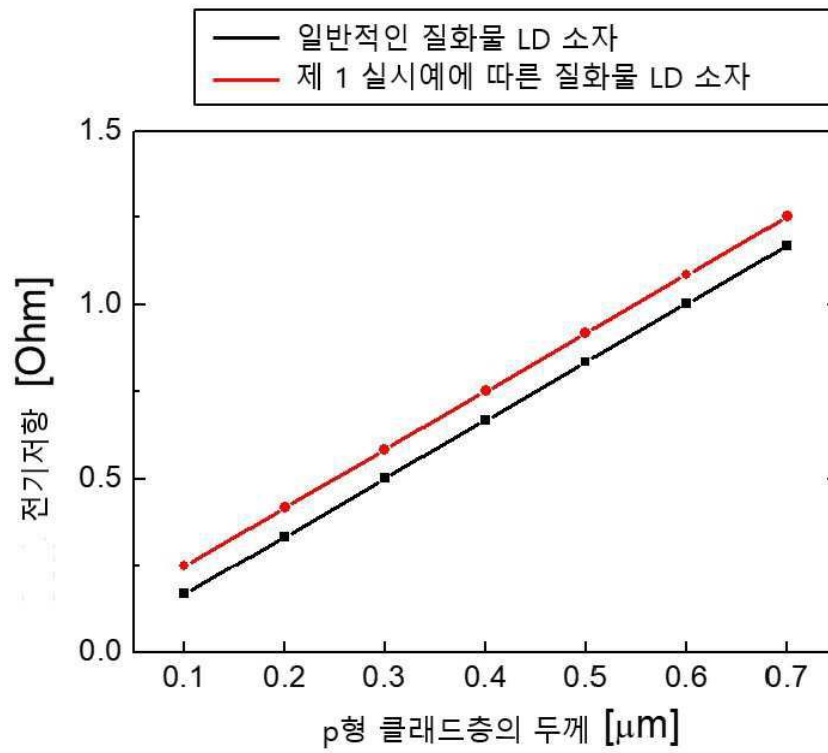
도면4



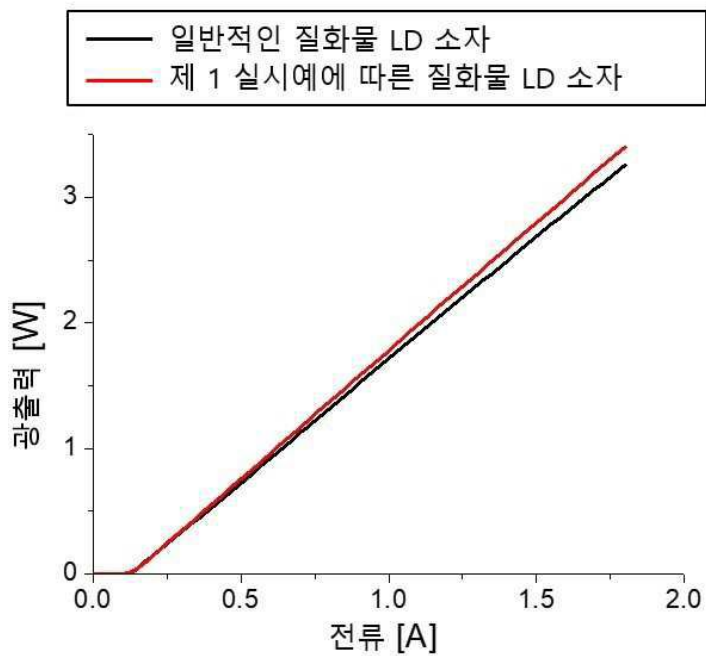
도면5



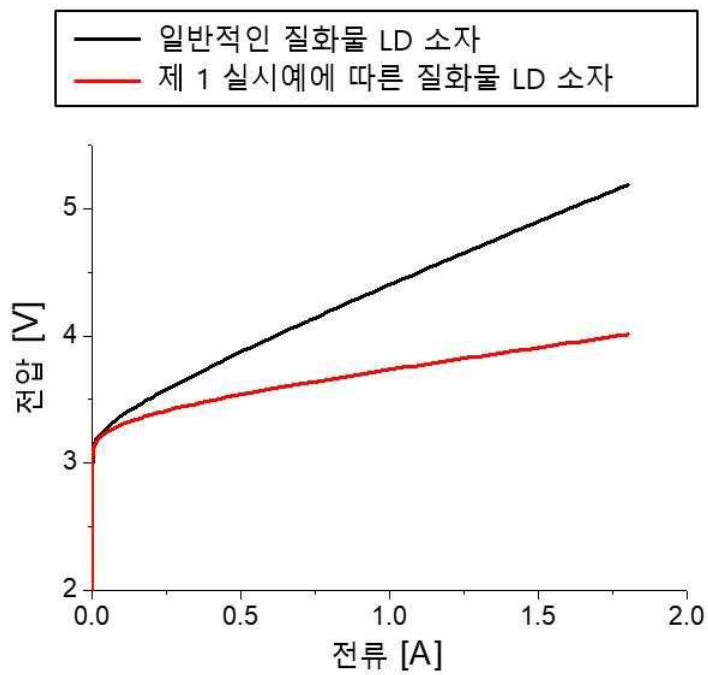
도면6



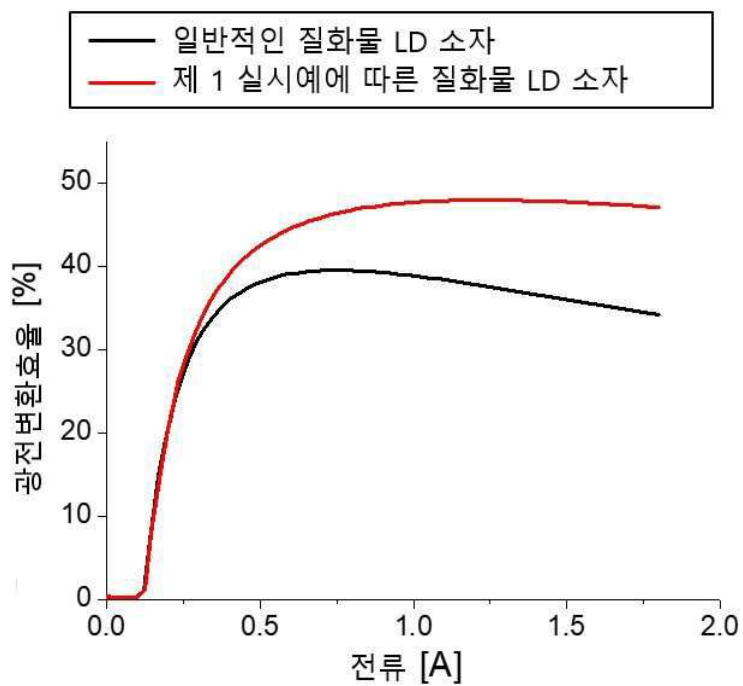
도면7



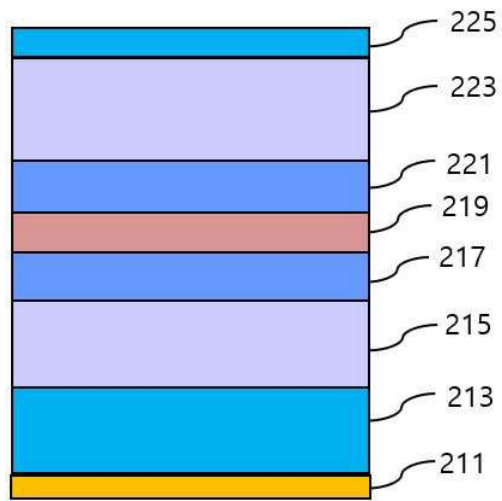
도면8



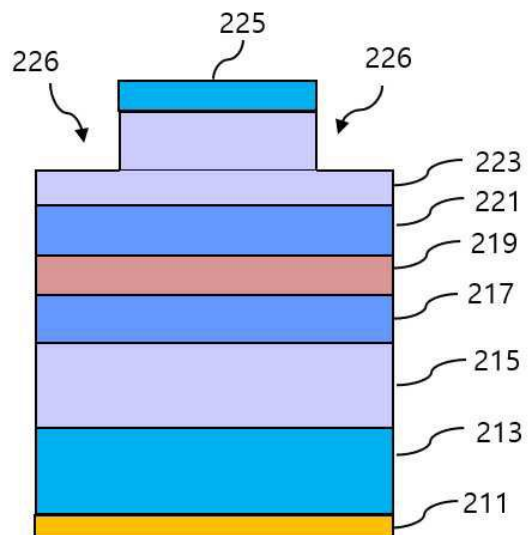
도면9



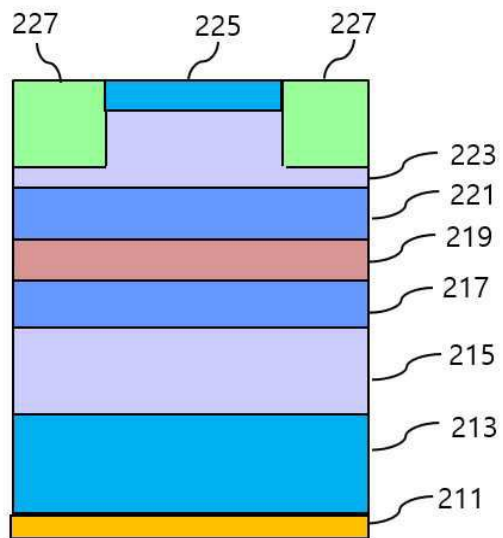
도면10a



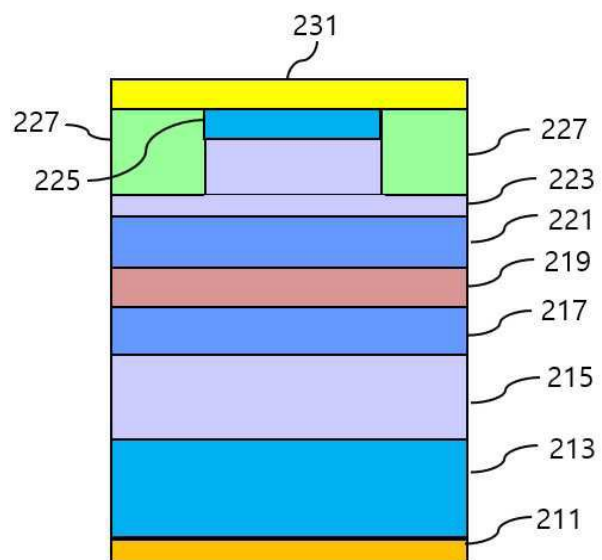
도면10b



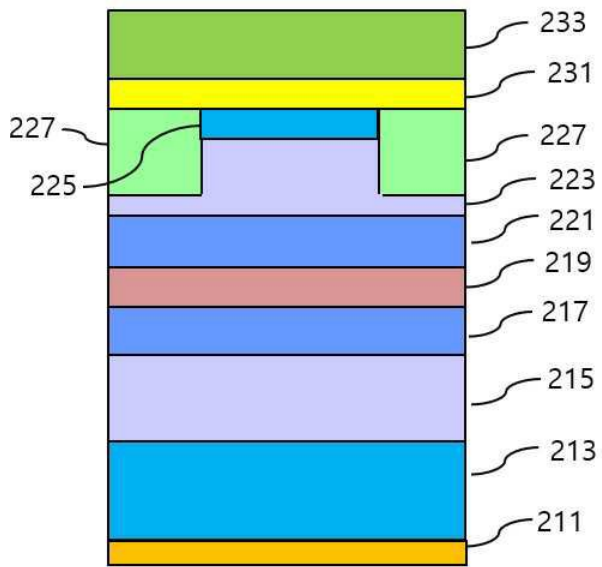
도면10c



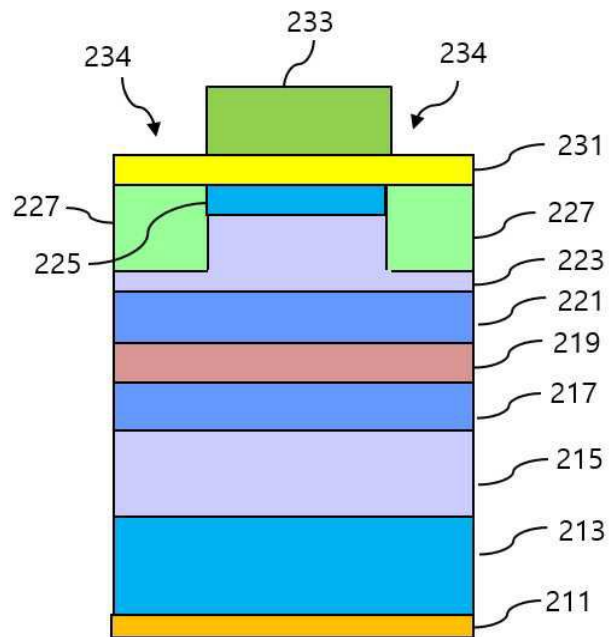
도면10d



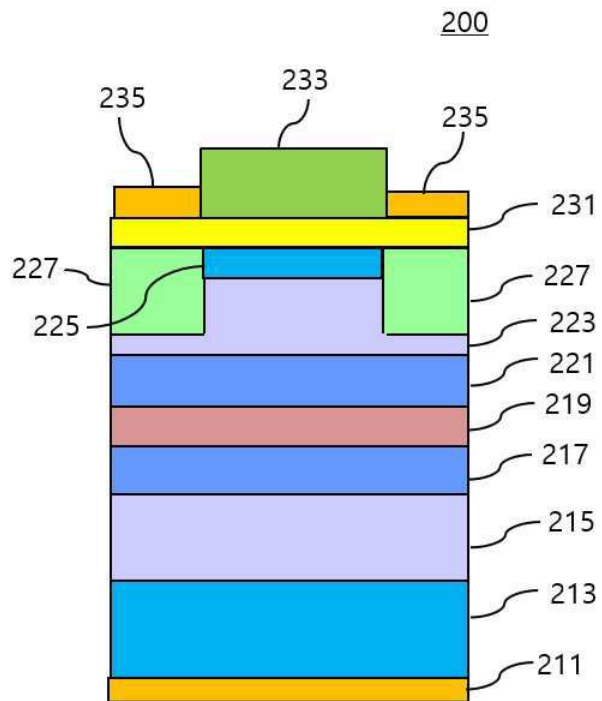
도면10e



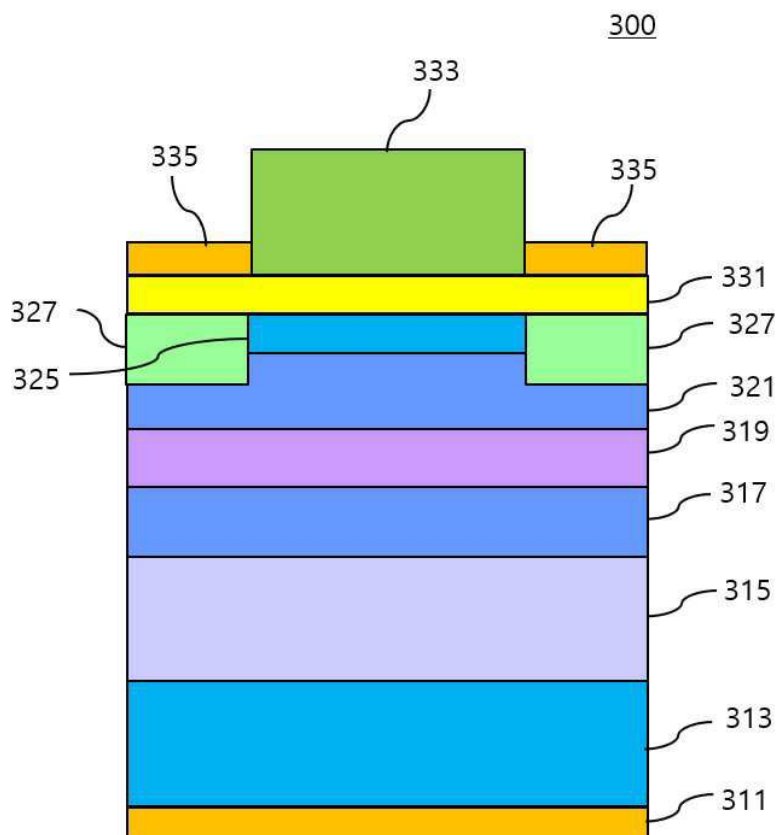
도면10f



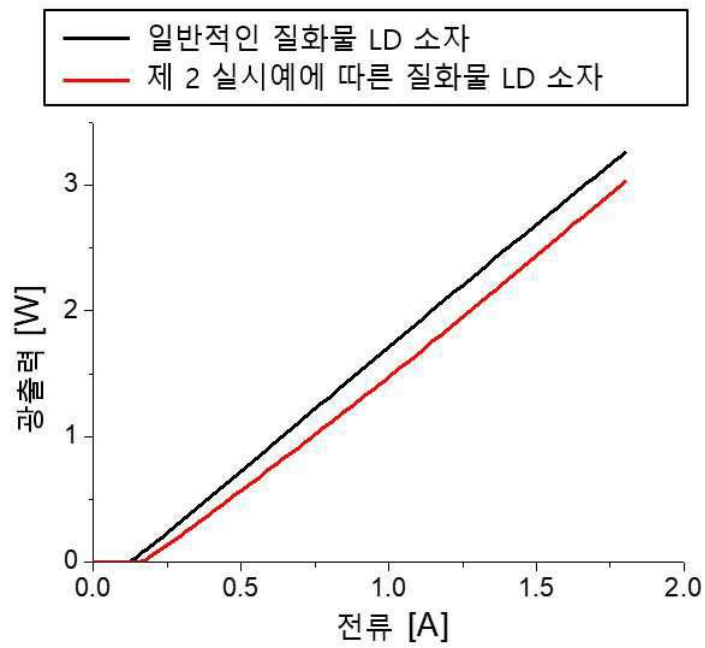
도면10g



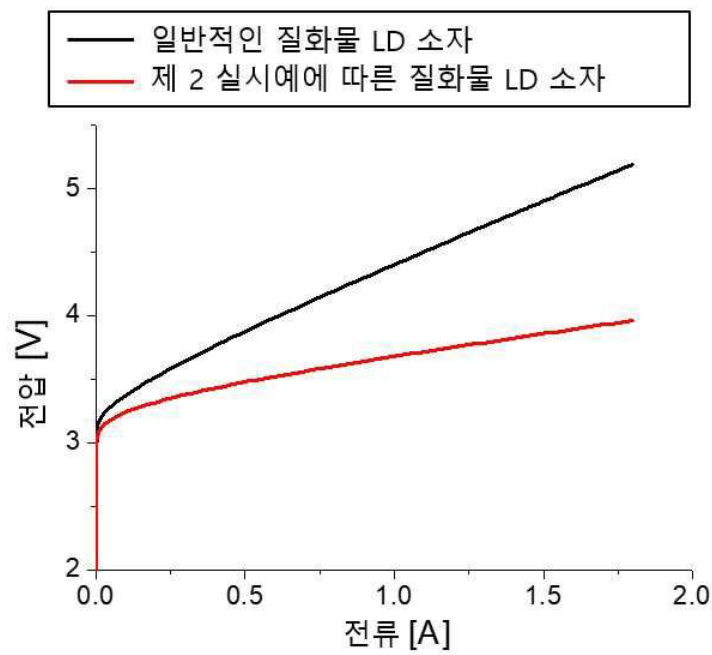
도면11



도면12



도면13



도면14

